

# PROJECTION ALIGNER

**Publication number:** JP10079337 (A)

**Publication date:** 1998-03-24

**Inventor(s):** HASHIMOTO SUMIO; KUDO SHINTARO +

**Applicant(s):** NIPPON KOGAKU KK +

**Classification:**

- **international:** **G03F7/20; H01L21/027; G03F7/20; H01L21/02;** (IPC1-7): G03F7/20; H01L21/027

- **European:** G03F7/20T14; G03F7/20T16

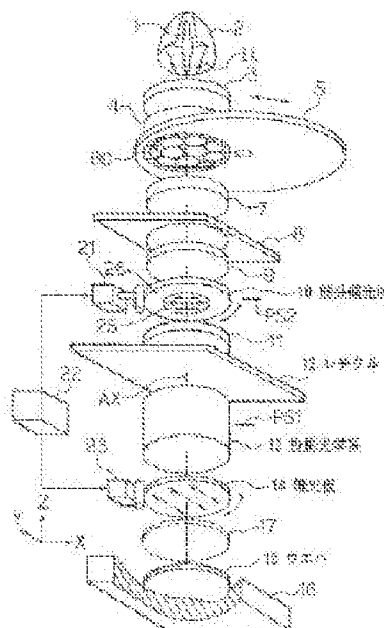
**Application number:** JP19960234158 19960904

**Priority number(s):** JP19960234158 19960904

## Abstract of JP 10079337 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress high-order spherical aberration fluctuation in the case of zonal illumination or irregular illumination.

**SOLUTION:** A partially polarizing plate 10 which allows linear polarized components to pass through in a circular region 25 in the vicinity of a light axis AX, and which allows illumination light to pass through as it is in a zonal region 26 is provided on an illumination system pupil face PS2 conjugate with a pupil face PS1 of a projection optic system 13, and a polarizing plate 14 which allows linear polarized components orthogonal to a polarizing direction of the region 25 of the partially polarizing plate 10 to pass through is provided between the projection optic system 13 and a wafer 15, whereby high resolution similar to that with zonal illumination is obtained. In this case, since the linear polarized components which have passed through the zonal region at the center pass through in addition to a light flux which has passed through a zonal region of the partially polarizing plate 10 in the projection optic system 13, an illumination distribution in the projection optic system 13 can be leveled, so that the linear polarized components are shielded by the polarizing plate 14.



.....  
Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

特開平10-79337

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月24日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 1 6 A
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
			H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
				5 2 7

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平8-234158

(22) 出願日 平成8年(1996) 9月4日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 橋本 純夫

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72) 発明者 工藤 慎太郎

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

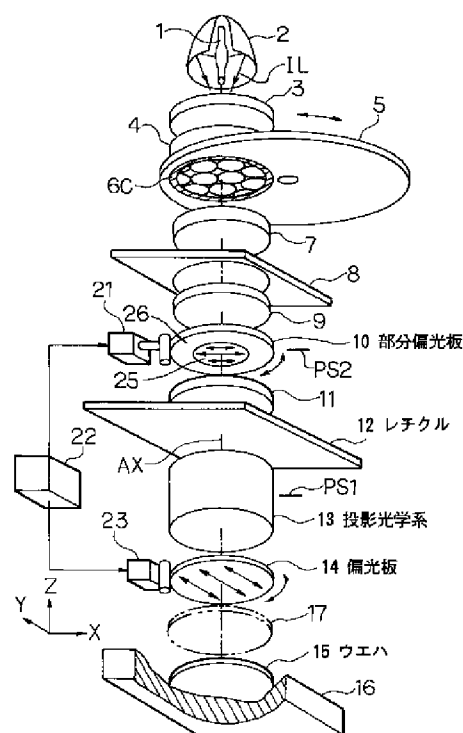
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 輪帯照明や変形照明を行った場合の高次の球面収差変動を抑える。

【解決手段】 投影光学系13の瞳面PS1と共役な照明系瞳面PS2に、光軸AXの近傍の円形領域25では直線偏光成分を通過させて、輪帯状の領域26では照明光をそのまま通過させる部分偏光板10を設け、投影光学系13とウェハ15との間に、部分偏光板10の領域25の偏光方向と直交する直線偏光成分を通過させる偏光板14を設けることにより、輪帯照明を用いる場合と同様に高い解像度を得る。この場合、投影光学系13内を部分偏光板10の輪帯状の領域を通過した光束以外に、中央の円形領域を通過した直線偏光成分も通過するため、投影光学系13内の照度分布が均一化され、その直線偏光成分は偏光板14で遮光される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 露光光のもとでマスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系を有し、前記露光光の内で前記マスクから傾斜して射出される光束、又は前記マスクに対して傾斜して入射する光束を有効な結像光束として使用する投影露光装置であって、前記投影光学系の瞳面と共役な面上で実質的に光軸を中心とする円形の領域に様に分布する光源からの前記露光光を用いて前記マスクを照明する照明光学系と、前記投影光学系の瞳面、又は該瞳面と共役な面上で、前記有効な結像光束が通過する領域以外の領域を通過する前記露光光の偏光方向を所定方向に設定する第1偏光部材と、前記投影光学系と前記感光基板との間に配置され前記投影光学系を通過した前記露光光の内で前記所定方向に偏光する光束を遮光する第2偏光部材と、を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 請求項1記載の投影露光装置であって、前記第1偏光部材は、前記光軸の周りの輪帯状領域の内側の領域、又は前記光軸から偏心した複数の領域を除く領域を通過する前記露光光の偏光方向を前記所定方向に設定することを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】 請求項1、又は2記載の投影露光装置であって、前記第1偏光部材と、前記第2偏光部材とを一定の相対角度関係を保ってそれぞれ回転する駆動手段を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】 請求項1、又は2記載の投影露光装置であって、前記第2偏光部材と前記感光基板との間に、前記第2偏光部材を通過した前記露光光を円偏光に変換する第3偏光部材を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程でマスク上のパターンを露光する感光基板上に露光するために使用される投影露光装置に関し、特に輪帯照明等を行うか、又は中心遮光型の瞳フィルターを使用する投影露光装置に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば半導体素子を製造する際に、マスクとしてのレチクル（又はフォトマスク等）のパターンの像を投影光学系を介して感光基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するステッパー等の投影露光装置が使用されている。これらの投影露光装置では、ウエハにできるだけ高集積度のパターンを露光するため、露光光として出来るだけ短波長の照明光を使用すると共に、投影光学

系の開口数（NA）を大きくして、パターンの解像度を上げるという努力がなされてきた。

【0003】但し、単に投影光学系の開口数を大きくすると、焦点深度が狭くなりすぎるため、開口数にあまり依存することなく、或る程度以上の焦点深度を確保して、且つ高い解像度を得る方法として、露光光をレチクルに対して傾斜させて照明するという照明法が開発されている。この照明法には、照明光学系の2次光源の形状を輪帯状とする輪帯照明及びその2次光源の形状を光軸から偏心した複数（例えば4個）の小光源とする、所謂変形照明等がある。このような照明法によれば、同じ露光波長、及び同じ投影光学系の開口数でも、投影光学系の解像度が向上する。また、投影光学系の瞳面に輪帯状等の瞳フィルターを配置して、所謂「超解像」により解像度を向上させる方法も開発されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】以上の従来技術において、輪帯照明等を使用せず、レチクルをレチクルに対して垂直に入射する光束を中心として様に分布する露光光で照明する照明方法によれば、主にレチクルのパターンを通過した0次回折光、+1次回折光、及び-1次回折光の3光束によってウエハ上にそのパターンの像を形成するために、投影光学系の瞳面付近のレンズは中心部も周辺部もほぼ様に照明される。また、通常の照明法のもとで投影光学系の瞳面に中心部を遮蔽する輪帯状の瞳フィルターを配置しない場合も、投影光学系の瞳面の近くのレンズは様に照明される。このような照明状態であれば、レンズの中心部が主に温度上昇するために、位置に関して2次以下の関数となる熱変形や屈折率変化が主に起こり、ガウス（Gauss）像面の移動だけが光軸付近の主な収差変動として生じる。従って、投影光学系の高次の球面収差変動が発生する恐れは少なかった。

【0005】しかし、輪帯照明や変形照明法により照明を行った場合には、レチクルのパターンを通過した露光用の照明光の内の主に0次回折光及び1次回折光によってウエハ上にそのパターンの像を形成するため、投影光学系の解像度の限界線幅に近いパターンが多い場合には、投影光学系の光軸付近を透過する光線の量が周辺部に比べて極めて少なくなる。また、投影光学系の瞳面に光軸付近を遮光した瞳フィルターを配置した場合でも、瞳面よりもウエハに近い側に配置されているレンズの光軸付近を透過する光線の量は周辺部に比べて極めて少なくなる。

【0006】このように投影光学系のレンズに対する照射エネルギーの分布が不均一になると、レンズの周辺部が主に熱を吸収して温度上昇し、中心部が温度上昇しないという現象が起こる。このような温度上昇に比例して、部分的にレンズの屈折率が変動したり、レンズが熱変形したりするので、2次よりも高次の非球面やそれに相当する屈折率分布が新たに形成される。そのため、投

影光学系の光軸に近い部分では、照明光の照射によりガウス像面の移動だけでなく、新たに高次の球面収差変動が生じるという不都合があった。

【0007】本発明は斯かる点に鑑み、輪帯照明や変形照明等を用いるか、又は光軸付近を遮光する瞳フィルターを使用して露光を行う際に、投影光学系の高次の球面収差変動を抑えて高い解像度が得られる投影露光装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光装置は、露光光（I L）のもとでマスク（12）上のパターンの像を感光基板（15）上に投影する投影光学系（13）を有し、その露光光（I L）の内でのマスク（12）から傾斜して射出される光束、又はそのマスク（12）に対して傾斜して入射する光束を有効な結像光束として使用する投影露光装置であって、その投影光学系（13）の瞳面（P S 1）、即ちそのマスクのパターン面に対する光学的フーリエ変換面と共役な面上で実質的に光軸（A X）を中心とする円形の領域に様に分布する光源（6 C）（2次光源を含む）からのその露光光（I L）を用いてそのマスク（12）を照明する照明光学系（7～9, 11）と、その投影光学系（13）の瞳面（P S 1）、又はこの瞳面と共役な面（P S 2）上で、その有効な結像光束が通過する領域（26；27 A～27 D；26 A）以外の領域（25；28；25 A）を通過するその露光光（I L）の偏光方向を所定方向に設定する第1偏光部材（10；10 A；10 C）と、その投影光学系（13）とその感光基板（15）との間に配置されその投影光学系（13）を通過したその露光光（I L）の内でのその所定方向に偏光する光束を遮光する第2偏光部材（14）と、を設けたものである。

【0009】斯かる本発明の投影露光装置によれば、そのマスク（12）から傾斜して射出される光束を有効な結像光束とする場合には、その第1偏光部材（10 C）はその瞳面上に配置されて実質的に中心遮光型の瞳フィルターとして作用する。一方、そのマスク（12）に対して傾斜して入射する光束を有効な結像光束とする場合には、その第1偏光部材（10；10 A）はその照明光学系内でその投影光学系の瞳面と共役な面上に配置されて、実質的に輪帯照明又は変形照明法で照明が行われることになる。

【0010】また、その第1偏光部材（10；10 A；10 C）とその第2偏光部材（14）との間を、その有効な結像光束と、その第1偏光部材により所定方向に偏光された光束とが合成されて通過する。従って、その第1偏光部材（10；10 A；10 C）とその第2偏光部材（14）との間に配置された投影光学系（13）の特に瞳面（P S 1）近傍のレンズにおける照度分布が均一になり、その瞳面（P S 1）の近傍のレンズの高次の熱変形や屈折率の変化が抑えられ、結果的に投影光学系

（13）の高次の球面収差変動が抑えられる。しかも、その結像光束以外の光束は、その第2偏光部材（14）によって遮光されるため、その感光基板上では高い解像度が得られる。

【0011】この場合、その第1偏光部材（10；10 A；10 C）の一例は、その光軸（A X）の周りの輪帯状領域の内側の領域（25；25 A）、又はその光軸から偏心した複数の領域（27 A～27 D）を除く領域（28）を通過するその露光光（I L）の偏光方向をその所定方向に設定する部材である。その第1偏光部材が輪帯領域の内側の領域を除く領域での偏光方向をその所定方向に設定する部材（10；10 C）であるときには、輪帯照明又は中心遮光型の瞳フィルターを使用する場合と等価になる。一方、その第1偏光部材が光軸から偏心した複数の領域を除く領域での偏光方向をその所定方向に設定する部材（10 A）であるときには、変形照明法を使用する場合と等価になる。

【0012】また、その第1偏光部材（10；10 A；10 C）と、その第2偏光部材（14）とを一定の相対角度関係を保ってそれぞれ回転する駆動手段（21～23）を設けることが好ましい。露光中にその第1偏光部材（10；10 A；10 C）及びその第2偏光部材（14）を回転することによって、感光基板（15）上に入射する露光光の偏光方向が回転する。従って、マスクパターンの周期方向に依らずに、その感光基板（15）に結像されるそのマスクパターンの像の線幅異常の発生が抑えられる。更に、その第1偏光部材（10）と、その第2偏光部材（14）とは一定の相対角度関係を保って回転するため、その第1偏光部材（10）により偏光された光束はその第2偏光部材（14）により確実に遮光される。

【0013】また、そのように駆動手段（21～23）を設ける代わりに、その第2偏光部材（14）とその感光基板（15）との間に、その第2偏光部材（14）を通過したその露光光（I L）を円偏光に変換する第3偏光部材（17）を設けるようにしてもよい。これにより、感光基板（15）上に結像する結像光束は円偏光となるため、マスクパターンの周期方向による線幅異常は減少する。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の投影露光装置の実施の形態の一例につき図1～図3を参照して説明する。本例は、レチクル上のパターンを投影光学系を介してウエハ上の各ショット領域に投影するステッパー型の投影露光装置で、実質的に輪帯照明又は変形照明を行う場合に本発明を適用したものである。

【0015】図1は、本例の投影露光装置の構成を説明するためのウエハ側から見た斜視図を示し、この図1において、露光時には、水銀ランプよりなる光源1から射出されたウエハ15上のフォトリソに感光性の照明

光 I L は、楕円鏡 2 によって集光された後、インプットレンズ 3 及び不図示の干渉フィルターに入射し、干渉フィルターにより、例えば i 線（波長 365 nm）の照明光 I L が抽出される。照明光 I L としては、i 線の他に g 線等の輝線、又は Ar F エキシマレーザ光や Kr F エキシマレーザ光、あるいは銅蒸気レーザや YAG レーザの高調波等が使用される。

【0016】照明光 I L はインプットレンズ 3 により平行光束となってオブティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ 4 に入射する。フライアイレンズ 4 の各レンズエレメントの夫々の射出面には 2 次光源が形成され、これらの 2 次光源により面光源が作られる。フライアイレンズ 4 の射出面には、面光源の大きさを調整するために複数の開口絞り 6 A ~ 6 C（図 2（a）参照）から選択された 1 つの開口絞りが配置されている。これらの開口絞り 6 A ~ 6 C は、ターレット状の円板 5 に固定され、円板 5 を不図示の駆動装置により回転することで所望の開口絞りをフライアイレンズ 4 の射出面に設定できる。

【0017】図 2（a）は、図 1 の円板 5 上の開口絞りの具体的な構成を説明するための平面図を示し、この図 2（a）において、3 個の開口絞り 6 A ~ 6 C はターレット状の円板 5 上に等角度間隔で固定されている。第 1 の開口絞り 6 A は通常の照明を行う場合に使用される円形開口を有し、第 2 の開口絞り 6 B は小さいコヒーレンスファクタ（ $\sigma$  値）で照明を行う場合に使用される小さい円形開口を有する。第 3 の開口絞り 6 C は、大きな円形開口を有し、本例では輪帯照明、又は変形照明を行う場合にその第 3 の開口絞り 6 C をフライアイレンズ 4 の射出面に設定する。即ち、通常輪帯照明時には図 2

（b）に示す輪帯状の開口絞り 6 D が使用され、変形照明時には図 2（c）に示す光軸を中心として配置された 4 個（又は 2 個）の小さい開口を有する開口絞り 6 E が使用される。しかし、本例では後述の部分偏光板 10 等によって、実質的に開口絞り 6 D 等が兼用される。図 1 では第 3 の開口絞り 6 C が照明光 I L の光路上に配置されている。

【0018】開口絞り 6 C を通過した照明光 I L は、第 1 リレーレンズ 7 を透過し、視野絞り（レチクルブラインド）8 により照明範囲が規定される。照明範囲が規定された照明光 I L は、第 2 リレーレンズ 9 を透過して部分偏光板 10 に入射する。部分偏光板 10 に入射する照明光 I L は自然光と同様にランダムな偏光成分からなる、所謂ランダム偏光の光束である。開口絞り 6 C の配置面と部分偏光板 10 の配置面（以下、「照明系瞳面」と呼ぶ）PS 2 とは共役である。

【0019】図 3（a）は、部分偏光板 10 の平面図を示し、この図 3（a）において、部分偏光板 10 の中心は照明光学系の光軸 A X にほぼ一致するように配置されており、その光軸 A X を中心とする円形の領域 25 は、

入射する光束の中で偏光方向が矢印で示す方向である直線偏光成分のみを通過させる偏光板となっている。即ち、領域 25 に入射する照明光 I L の中で矢印で示す直線偏光成分のみが領域 25 を通過する。なお、その矢印は電気ベクトルの方向を示している（以下同様）。一方、円形の領域 25 の外周 25 A の外側の輪帯状の領域 26 を透過する照明光 I L は、ランダム偏光のまま部分偏光板 10 を透過する。輪帯状の領域 26 の外周は、図 1 の開口絞り 6 C の開口の像の外周より大きくなるように設定されている。また、図 1 に示すように、部分偏光板 10 は照明光学系の光軸 A X を中心として  $180^\circ$  回転可能に構成されており、回転角制御系 22 により回転駆動体 21 を介して部分偏光板 10 の光軸 A X 周りの回転角が制御される。更に、部分偏光板 10 は回転駆動体 21 を介して他の変形照明用の部分偏光板と交換できると共に、照明光 I L の光路から随時退避できるように構成されている。

【0020】図 3（b）及び図 3（c）は、変形照明用の部分偏光板を示し、この図 3（b）において、部分偏光板 10 A の周辺部に等角度間隔で 4 個の円形の開口 27 A ~ 27 D が設けられており、その周囲の領域 28 は矢印の方向の直線偏光成分を通過させる偏光板となっている。部分偏光板 10 A の中心を図 1 の照明光学系の光軸 A X に一致するように配置すれば、光軸 A X から偏心した 4 個の円形の開口 27 A ~ 27 D をランダム偏光の照明光 I L が通過し、それ以外の領域 28 では直線偏光成分のみが通過する。

【0021】また、図 3（c）に示すように、両端に 2 つの開口 29 A, 29 B を設け、その周囲の領域 30 を矢印の方向に直線偏光する光束を通過させる偏光板とした部分偏光板 10 B も使用される。その開口 29 A, 29 B を通過する照明光の偏光状態もランダム偏光が維持される。そして、これらの部分偏光板 10 A, 10 B も回転駆動体 21 によって回転される。

【0022】図 1 において、部分偏光板 10 を通過したランダム偏光の光束と直線偏光の光束とからなる照明光 I L は、コンデンサレンズ 11 によりレチクル 12 上に照射される。レチクル 12 上に照射された照明光 I L は、レチクル 12 上のパターン領域を通過し、投影光学系 13 を介して偏光板 14 に入射する。偏光板 14 の偏光特性は入射する光束の中で、部分偏光板 10 の円形の領域 25 を通過する直線偏光成分と直交する方向に直線偏光する成分のみを通過させるように設定されており、部分偏光板 10 の円形の領域 25 を通過した直線偏光成分は偏光板 14 により遮光され、部分偏光板 10 の輪帯状の領域 26 を通過したランダム偏光の光束の内の偏光板 14 の偏光方向と平行な直線偏光成分だけが、偏光板 14 を通過してウエハ 15 上に照射される。照明光 I L のもとでレチクル 12 のパターン面とウエハ 15 の表面とは投影光学系 13 に関して共役であり、その偏光板 1

4を通過した光束によりレチクル12上のパターンの像がウエハ15上に転写される。

【0023】更に、偏光板14も部分偏光板10と同様に、光軸AXを中心として180°回転可能に構成されており、回転角制御系22により回転駆動体23を介して偏光板10の光軸AX周りの回転角が制御される。この際に、部分偏光板10と偏光板14とは常に相対角度関係が一定の状態、即ち部分偏光板10の領域25と偏光板14との偏光方向が直交した状態で同期して回転される。この場合、投影光学系13内の瞳面PS1、即ちレチクル12のパターン面に対する光学的フーリエ変換面は開口絞り6Cの配置面、ひいては部分偏光板10の配置面である照明系瞳面PS2と共役である。図1において、照明光学系の光軸AXは投影光学系13の光軸と合致しており、以下では光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な2次元平面内の直交座標系をX軸、及びY軸として説明する。

【0024】レチクル12はX方向、Y方向、及び回転方向に微動可能なレチクルステージ（不図示）上に載置されている。レチクル12の位置は外部のレーザ干渉計（不図示）により精密に計測されており、そのレーザ干渉計の測定値に基づいてレチクル12の位置が制御されている。一方、ウエハ15は不図示のウエハホルダを介してX方向、Y方向及びZ方向にウエハ15を位置決めするウエハステージ16上に載置され、ウエハステージ16のX方向、Y方向の位置は外部のレーザ干渉計により精密に計測されており、その計測値に基づいてウエハステージ16の位置が制御されている。ウエハステージ16によりウエハ15の各ショット領域の中心を投影光学系13の露光中心に移動する動作と露光動作とがステップ・アンド・リピート方式で繰り返されて、レチクル12上のパターンの像がウエハ15上の各ショット領域に順次転写される。

【0025】次に、本例の投影露光装置の露光動作について説明する。まず、本例で輪帯照明を行う場合には、図1に示すように、大きな開口の開口絞り6Cをフライアイレンズ4の射出面に設定し、回転駆動体21で照明光ILの光路上に部分偏光板10を設定する。この場合、フライアイレンズ4から射出される照明光ILは、あらゆる偏光成分を含む光束である。そして、照明系瞳面PS2に配置された部分偏光板10により、その照明光ILの内で光軸AXの近傍の領域25を通過する光束は直線偏光成分のみである。また、照明光ILは部分偏光板10の周辺の輪帯状の領域26をランダム偏光のまま透過する。このように、照明系瞳面PS2で或る開口数よりも小さい光束が直線偏光であり、周辺の光束がランダム偏光であるような照明光ILによりレチクル12を照明すると、投影光学系13の瞳面PS1の近傍のレンズでは光軸AXの近傍を主に直線偏光の光束が透過する。従って、レンズの周辺部ばかりでなく、中心部も照

射エネルギーを吸収して温度上昇するので、レンズの熱変形や屈折率変化において高次の変動成分に対する2次の変動成分の比率が増し、結果的に高次の球面収差変動が少なくなる。

【0026】また、部分偏光板10の領域25と偏光方向が直交する偏光板14が投影光学系13とウエハ15との間に配置されており、部分偏光板10の円形の領域25により選択された直線偏光成分は偏光板14によって遮光されて、ウエハ15の結像には関与しない。しかし、部分偏光板10の輪帯状の領域26を通過した照明光ILのうち、偏光板14の偏光方向に平行な偏光成分はウエハ15の結像に関与するので、結果的に図2

(b)に示すような中心部が遮光された輪帯状の開口部を有する開口絞り6Dを用いて輪帯照明を行った場合と等価になる。

【0027】この場合、ウエハ15の結像に係る照明光ILは直線偏光であるため、その直線偏光の偏光方向と、レチクル12のパターンの周期方向との角度差によって、ウエハ15上のパターンの像の線幅が異なるという線幅異常が起こる恐れがある。そこで、露光中に部分偏光板10及び偏光板14を回転制御系22により、それぞれ回転駆動体21及び23を介して互いの偏光方向が直交する状態を保って同期して回転駆動する。即ち、露光中に部分偏光板10及び偏光板14をそれぞれ180°回転する。これによって、レチクル12のパターンの周期方向に依らずに、ウエハ15上のパターンの像の線幅異常の発生が抑えられる。

【0028】なお、上述のように部分偏光板10及び偏光板14を回転する機構を設ける代わりに、直線偏光の偏光方向とレチクルのパターンの周期方向との角度差による線幅異常を解消するために、図1の2点鎖線で示すように、偏光板14とウエハ15との間の照明光ILの光路上に、直線偏光を円偏光に変換する1/4波長板17を配置してもよい。これによって、ウエハ15に入射する結像光束は円偏光となる。更に、1/4波長板17の代わりに、1/2波長板を設けてこの1/2波長板を回転させてもよい。これらの場合には、部分偏光板10及び偏光板14の回転機構、即ち図1の回転駆動体21、23及び回転角制御系22を省略できる。

【0029】また、偏光板14は、投影光学系13の全てのレンズが部分偏光板10の領域25を通過した直線偏光成分で照射されるように、投影光学系13とウエハ15との間に配置するのが最も望ましい。しかし、球面収差変動には投影光学系13の瞳面PS1付近のレンズに対する不均一な照度分布による熱変形や屈折率変動が大きく関与しているので、偏光板14は少なくとも投影光学系13内で瞳面PS1に対してウエハ15に近い位置に配置すればよい。

【0030】また、図1に示すように、部分偏光板10を照明系瞳面PS2に配置すると、投影光学系13の瞳

面PS1付近のレンズの中心部は直線偏光光、周辺部はランダム偏光光が主に照射される。ランダム偏光光は、2つの互いに直交する直線偏光成分がそれぞれ1/2ずつ混合された光束と見なすことができる。従って、瞳面PS1付近のレンズの中心部は周辺部に比較して1/2の照射エネルギー密度となる。このために高次の球面収差変動が充分小さくならない場合は、照明系瞳面PS2の部分偏光板10の輪帯状の領域26での照度を下げる必要がある。そのためには、輪帯状の領域26に光強度を弱めるためのNDフィルタ（Neutral Density filter）を設けてもよい。

【0031】次に、変形照明を行う場合には、図1の回転駆動体21を介して照明光IL1の光路上に、図3

(b)の部分偏光板10A、又は図3(c)の部分偏光板10Bを配置する。この際に、部分偏光板10Aの4個の開口27A~27D以外の領域28、又は部分偏光板10Bの2個の開口29A、29B以外の領域30を通過した照明光ILの直線偏光成分が、図1の投影光学系13の瞳面PS1付近のレンズの光軸近傍を通過するため、高次の球面収差変動が抑制される。また、その直線偏光成分は偏光板14で遮光されるため、実質的に変形照明を行った場合と等価となって、所定の周期的パターンに対して高い解像度が得られる。

【0032】特に図3(c)に示す部分偏光板10Bを用いるときには、図3(b)のように局在化した4個の部分に開口を設けるよりも解像力が向上することがある。即ち、部分偏光板10Bを使用した場合には、結果的に偏光方向と垂直な方向に傾斜した直線偏光によってウエハ15が照明されることになる。この部分偏光板10Bを1回の露光中に少なくとも180°回転するような機構を設けると、あらゆる方向の周期性のパターンに対して、照明の傾斜方向と偏光方向とが垂直になる。これは、特開平6-53120号公報に開示されているように、ラジアル方向に垂直な方向（円周方向）に偏光するような輪帯偏光板を照明光学系中に配置したのと同様の解像度の向上効果がある。解像力の向上効果については、特開平6-53120号公報に詳しく書かれているのでその説明を省略する。

【0033】次に、通常の照明法で露光を行う場合には、図2(a)の開口絞り6A又は6Bを図1のフライアイレンズ4の射出面に設定すると共に、回転駆動体21を介して部分偏光板10、10A、10Bを照明光ILの光路から退避させる。更に、偏光板14をも退避させてもよい。これによって、通常の露光が行われる。なお、上述の実施の形態において、部分偏光板10及び偏光板14の代わりにそれぞれ偏光ビームスプリッタを使用してもよい。部分偏光板10の円形の領域25の代わりに偏光ビームスプリッタを使用したときには、その周囲の領域は例えば素通しの領域とすればよい。

【0034】次に、本発明の投影露光装置の実施の形態

の他の例について、図4を参照して説明する。本例は、実質的に中心遮光型の瞳フィルターを使用する場合に本発明を適用したものであり、図4において図1に対応する部分には同一符号を付し、その詳細説明を省略する。図4は、本例の投影露光装置の概略構成を示す斜視図を示し、この図4において、レチクル12は図1の光源1からコンデンサレンズ11までの照明光学系と同様の照明光学系によって照明されている。但し、本例の照明光学系（不図示）では図1中の部分偏光板10等は配置されていない。即ち、図4のレチクル12はランダム偏光の照明光ILによって照明されている。以下では簡単のため、投影光学系13を上部レンズ系13A、及び下部レンズ系13Bに分けて説明する。この図4に示すように、本例の投影光学系13の瞳面PS1の近傍に図1の部分偏光板10と同様の部分偏光板10Cが設置されている。レチクル12から上部レンズ系13Aに入射したランダム偏光の照明光ILは、部分偏光板10Cに入射する。部分偏光板10Cは光軸AXを中心とする円形の領域25Aが矢印で示す方向の直線偏光成分を通過させる偏光板となり、その周囲の輪帯状の領域26Aはランダム偏光の光束をそのまま通過させる領域となっている。部分偏光板10Cに入射した照明光ILの中で、領域25Aを通過した直線偏光成分と、領域26Aを通過したランダム偏光の光束とは、下部レンズ系13Bを透過し、部分偏光板10Cの領域25Aの偏光方向に直交する直線偏光成分を通過させる偏光板14に入射する。そして、偏光板14を通過した直線偏光成分によりレチクル12上のパターンの像がウエハ15上に転写される。なお、本例においても、部分偏光板10Cは光軸AXの周りに180°回転可能に構成されており、部分偏光板10Cに同期して、且つ偏光方向が直交する状態を保って偏光板14も回転駆動される。

【0035】本例によれば、投影光学系13に入射した結像光束の中で、部分偏光板10Cの円形の領域25Aを通過するのは直線偏光成分のみであり、この直線偏光成分は偏光板14で遮光される。従って、投影光学系13の瞳面PS1に輪帯状の開口部を有する瞳フィルターを配置した場合と等価となり、高い解像度が得られる。また、下部レンズ系13Bのレンズの中心部も直線偏光成分により照射されるため、不均一な照度分布による投影光学系13内の熱変形や屈折率の変化が抑えられ、結果として投影光学系13の高次の収差変動成分が減少する。

【0036】また、部分偏光板10C及び偏光板14は180°回転可能で、且つ同期して同じ角度関係を保ように駆動される構成を有するため、露光中に2つの偏光板10C、14を例えば180°回転することにより、レチクル12のパターンの周期方向に基づく線幅異常の発生が抑えられる。なお、図1の実施の形態と同様に、図4の偏光板14とウエハ15との間の光路上に1/4

波長板を設置し、偏光板14により直線偏光された光束を円偏光に変換するようにすれば、部分偏光板10C及び偏光板14を回転する機構を設けなくとも、パターンの周期方向に起因する線幅異常は生じない。

【0037】次に、上述の実施の形態において、投影光学系13のレンズに対する照度分布が均一化され、高次の収差変動が抑えられることを計算例に基づいて説明する。まず、照明光の照射による上昇後の温度分布を計算する。レンズを円筒形に近似して、レンズの側面から周辺の空気を通して熱が流出せず、レンズの縁が金属と接することにより、その縁からのみ熱が流出し、レンズにおける吸収エネルギー密度分布が光軸AXの回りの角度に対して一定であるとする。そのレンズの半径方向の距離を表す変数を $r$ とすれば、上昇後の温度分布は変数 $r$ の関数 $T(r)$ となり、レンズの単位体積当たりの熱吸収量及び熱伝導率をそれぞれ、 $\omega(r)$ 及び $\lambda$ とし、レンズの外半径を $a$ とすると、熱平衡状態での円筒座標系での熱伝導方程式は、次式のように表せる。

$$B_i = 2 \int_0^a \omega(r) \cdot J_0(p_i \cdot r) r dr / \{ \lambda p_i^2 a^2 [J_1(p_i \cdot a)]^2 \}$$

【0042】特に、熱吸収量 $\omega(r)$ が照射径内で階段状の関数で表されるとき、即ち或る $j$  ( $1 \leq j \leq N$ )において、変数 $r$ が、 $h_j \leq r \leq h_{j+1}$ を満たす区間において、熱吸収量 $\omega(r)$ が一定値 $\omega_j$ をとるとき、次の

$$\begin{aligned} \int_0^a \omega(r) \cdot J_0(p_i \cdot r) r dr &= \sum_{j=1}^N \int_0^a \omega_j \cdot J_0(p_i \cdot r) r dr \\ &= \sum_{j=1}^N \omega_j \{ h_{j+1} \cdot J_1(p_i \cdot h_{j+1}) - h_j \cdot J_1(p_i \cdot h_j) \} / p_i \end{aligned}$$

【0044】従って、(数4)を(数3)に代入することにより係数 $B_i$ が求められ、この係数 $B_i$ を(数2)に代入することにより、上昇後の温度分布 $T(r)$ が求められる。次に、上昇後の温度分布 $T(r)$ により、どの次数の収差変動が多く現れるかを調べるために、上昇後の温度分布 $T(r)$ を以下のように最小2乗法で $r^{10}$ の項までベキ級数展開すると、次式ようになる。

【0045】

【数5】 $T(r) = T_0 + C_2 \cdot r^2 + C_4 \cdot r^4 + C_6 \cdot r^6 + C_8 \cdot r^8 + C_{10} \cdot r^{10}$

この場合、上昇後の温度分布 $T(r)$ の単位は℃、変数 $r$ の単位はmmである。また、 $T_0$ は、光軸AX、即ち変数 $r$ が0の位置における上昇後の温度分布 $T(0)$ である。

【0046】以下、実際の数値に基づく計算例について説明する。投影光学系の入射側の開口数(NA)に対す

【0038】

【数1】 $\partial^2 T / \partial r^2 + (1/r) \partial T / \partial r + \omega(r) / \lambda = 0$

この熱伝導方程式を解くと、次式ようになる。

【0039】

【数2】

$$T(r) = \sum_{i=1}^{\infty} B_i J_0(p_i \cdot r)$$

【0040】ここで、 $J_n(p_i \cdot r)$ は第1種第 $n$ 次( $n=0, 1, 2, \dots$ )のベッセル(Bessel)関数で、 $p_i$ は $J_1(p_i \cdot a) = 0$ を満たす数列である( $i=1, 2, 3, \dots$ )。また、係数 $B_i$ は次式により求められる。

【0041】

【数3】

関係が成立する。

【0043】

【数4】

る照明光学系の出射側の開口数の比の値(コヒーレンスファクタ)を $\sigma$ 値とし、この $\sigma$ 値を0.75に設定する。そして、 $\sigma$ 値が0.75の照明系によって外半径40mmの円筒形の石英からなるレンズが照明され、レンズ上の照射半径 $d$ が30mmであるような場合について、(数2)～(数4)の熱伝導方程式の解に基づいて計算する。石英の熱伝導率を0.0138W/(cm・℃)とし、ウエハ上のフォトリソに感光性の照明光に対するレンズの光エネルギーの吸収率を2%/cmとする。

【0047】第1の計算例では、まず比較のため、照明光の全照射エネルギー量が1Wで、 $\sigma$ 値が0.75の範囲内でレンズが一様に照射されている場合について計算する。図5(a)は、第1の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、横軸は変数 $r$ 、縦軸は上昇後の温度分布 $T(r)$ を表す。実線の曲線31Aに示すよう



に、上昇後の温度分布 $T(r)$ は原点、即ち光軸AXに最大値 $T_A$ を有し、光軸AXに関して軸対称な山型の変化を示す。なお、参考として、照明光の照射エネルギー密度分布 $P(r)$ を点線32Aにより示す。照射エネルギー密度分布 $P(r)$ は、変数 $r$ が $0 \sim d$ （照射半径）の間で一定の値 $P_1$ となる。また、光軸AXでの温度分布 $T_0$ 、及び温度分布 $T(r)$ を（数5）によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表1に示す。

【0048】

【表1】

光軸における上昇後の温度分布 $T_0$		$1.8182 \times 10^{-1}$
係数		
$C_2$	$-1.3450 \times 10^{-4}$	
$C_4$	$4.4000 \times 10^{-8}$	
$C_6$	$-9.9006 \times 10^{-11}$	
$C_8$	$8.2983 \times 10^{-14}$	
$C_{10}$	$-2.0745 \times 10^{-17}$	

【0049】次に、第2の計算例について説明する。この計算例は輪帯照明又は瞳フィルターを用いた場合の例であり、第1の計算例と同様に比較のための計算例である。 $\sigma$ 値は最大で0.75で、輪帯の内側の $\sigma$ 値は0.5である。その $\sigma$ 値が0.5～0.75の間でレンズが一樣に照明され、全照射エネルギー量が1Wである場合について上昇後の温度分布 $T(r)$ を計算したものである。

【0050】図5（b）は、第2の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、この図5（b）において、実線の曲線31Bに示すように、上昇後の温度分布 $T(r)$ は変数 $r$ がほぼ $0 \sim e$ の間で一定の温度 $T_B$ となる。点線32Bで示す照射エネルギー密度分布 $P(r)$ は、変数 $r$ が $e \sim d$ の間で一定の値 $P_2$ となり、変数 $r$ が $0 \sim e$ の間では0となっている。第1の計算例と同様に、光軸AXでの上昇後の温度分布 $T_0$ 、及び上昇後の温度分布 $T(r)$ を（数5）によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表2に示す。

【0051】

【表2】

光軸における上昇後の温度分布 $T_0$		$1.0744 \times 10^{-1}$
係数		
$C_2$	$-3.4321 \times 10^{-5}$	
$C_4$	$2.7328 \times 10^{-7}$	
$C_6$	$-6.3961 \times 10^{-10}$	
$C_8$	$4.5319 \times 10^{-13}$	
$C_{10}$	$-1.0513 \times 10^{-16}$	

【0052】次に、第3の計算例について説明する。この計算例は、図1及び図4に示す実施の形態のように、

部分偏光板10又は10Cを使用してレンズが照明されている場合の上昇後の温度分布 $T(r)$ を求めるものである。この場合、 $\sigma$ 値が0.75から0.5の範囲内では、ランダム偏光光により全照射エネルギー量が1Wでレンズが一樣に照明され、 $\sigma$ 値が0.5から0.0の範囲内においては、直線偏光成分での照明により、 $\sigma$ 値が0.75から0.5の範囲の2分の1の照射エネルギー密度でレンズが照明されているものとする。

【0053】図5（c）は、第3の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、この図5（c）において、実線の曲線31Cに示すように、上昇後の温度分布 $T(r)$ は原点、即ち光軸AXに最大値 $T_C$ を有し、光軸AXに関して軸対称な山型の変化を示す。また、照射エネルギー密度分布 $P(r)$ は階段状に変化する点線32Cに示すように、変数 $r$ が $e \sim d$ の間で一定の値 $P_2$ となり、変数 $r$ が $0 \sim e$ の間では一定の値 $P_3 (= (1/2) \cdot P_2)$ となっている。また、光軸AXでの温度分布 $T_0$ 、及び温度分布 $T(r)$ を（数5）によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表3に示す。

【0054】

【表3】

光軸における上昇後の温度分布 $T_0$		$2.1736 \times 10^{-1}$
係数		
$C_2$	$-1.3821 \times 10^{-4}$	
$C_4$	$1.7624 \times 10^{-7}$	
$C_6$	$-4.0891 \times 10^{-10}$	
$C_8$	$3.0128 \times 10^{-13}$	
$C_{10}$	$-7.1235 \times 10^{-17}$	

【0055】なお、第1及び第2の計算例においては、全照射エネルギー量を1Wとし、第3の計算例においては、 $\sigma$ 値が0.75から0.5の範囲内における照射エネルギー量を1Wとしている。この第3の計算例においては、 $\sigma$ 値が0.5～0.0の範囲における照射エネルギー量を加えると、全照射エネルギー量は1Wを超える。これは、第1～第3の計算例におけるウエハ13上のフォトレジストに対する感光性の照明光の照射エネルギー量を等しくして、露光時間（スループット）が等しくなるように設定したものである。

【0056】第1の計算例に示す一樣照明方式と、第2の計算例に示す輪帯照明方式又は瞳フィルター方式（輪帯照明方式等）とを比較した場合、表1及び表2で示すように、輪帯照明方式等の方が一樣照明方式に比較して、光軸AXにおける温度が低い。それにもかかわらず、例えばベキ級数の係数 $C_4$ を比較すると、一樣照明方式の場合の係数 $C_4$ の値が、 $4.4000 \times 10^{-8}$ に対して、輪帯照明方式等の場合の係数 $C_4$ は、 $2.7328 \times 10^{-7}$ と、輪帯照明方式等の方が大きくなっている。即ち、一樣照明方式と輪帯照明方式等とを比較する

と、係数 $C_2$ 以外のベキ級数の係数の絶対値は全て輪帯照明方式等の方が大きくなっている。熱変形や屈折率変化は上昇後の温度分布 $T(r)$ に比例するので、収差変動も上昇後の温度分布 $T(r)$ に比例する。係数 $C_2$ より高次のベキ級数の係数が全て輪帯照明方式等の方が大きいということは、輪帯照明方式等の方が高次の収差変動が大きいことを意味する。

【0057】ここで、図1及び図4に示す実施の形態の露光方法を「部分偏光板方式」とすれば、この部分偏光板方式により光軸近傍にも直線偏光成分を照射すると、第3の計算例に示すように、全照射量が一樣照明方式や輪帯照明方式等よりも多いにもかかわらず、表3及び表2に示すように、係数 $C_4$ の値( $=1.7624 \times 10^{-7}$ )は、輪帯照明方式等での係数 $C_4$ の値( $=2.7328 \times 10^{-7}$ )よりも小さくなっている。更に、係数 $C_6$ 、 $C_8$ 、 $C_{10}$ の絶対値を比較すると、何れの係数においても部分偏光板方式の方が輪帯照明方式等よりも小さくなっている。これは、部分偏光板方式により高次の収差変動が小さくなることを意味する。

【0058】また、第3の計算例においては、 $\sigma$ 値が0～0.5の間における照射エネルギー密度を、 $\sigma$ 値が0.5～0.75の間における密度分布の1/2とした。これに対して、 $\sigma$ 値が0～0.75の範囲において全て一様な照射エネルギー分布により照射されるように、例えば前述のようにNDフィルターを使用するか、又は図3(b)及び図3(c)のように変形照明法を用いて極在化した部分のみランダム偏光光を透過させ、それ以外の部分で直線偏光成分を通過させる場合の温度分布 $T(r)$ について計算し、図5(b)の輪帯照明方式等の場合と比較してみる。この場合、図3(b)及び(c)の極在化した部分を透過するランダム偏光光の全照射量を1Wとする。

【0059】この場合のレンズに照射される全照射量 $TP(W)$ は次式により求められる。

$$TP = 1W \cdot 0.75^2 / (0.75^2 - 0.5^2) = 1.8W$$

従って、図5(c)のような部分偏光板方式において、 $\sigma$ 値が0.5以内の範囲もその周囲の領域と等しい照射エネルギー密度で照射する場合には、図5(a)の一樣照明方式において、照射エネルギー密度を1.8倍した状態と等価である。従って、ベキ級数の係数も全て表1の値を1.8倍したものとなるため、係数 $C_4$ 、 $C_6$ 、 $C_8$ 、 $C_{10}$ はそれぞれ、 $7.9200 \times 10^{-8}$ 、 $-1.7821 \times 10^{-10}$ 、 $1.4937 \times 10^{-13}$ 、 $-3.7341 \times 10^{-17}$ となる。これらの係数の値を表2のそれぞれの係数と比較した場合、光軸AX近傍の上昇後の温度分布 $T_0$ が輪帯照明方式等の場合よりもかなり大きいにもかかわらず、係数 $C_4 \sim C_{10}$ までの係数は輪帯照明方式等の場合より全て小さくなっている。即ち、部分偏光板方式で $\sigma$ 値が0～0.75の範囲内において、平坦な

照射エネルギー密度 $P_2$ で照射した場合でも、輪帯照明方式等の場合より高次の収差変動が少ないことを意味している。

【0060】なお、本発明はステッパ型投影露光装置に限らず、レチクルのパターンの一部を投影光学系を介してウエハ上に投影した状態で、レチクルとウエハとを投影光学系に対して同期走査してレチクルのパターンを順次ウエハ上の各ショット領域に転写露光するステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置にも同様に適用できる。

【0061】このように、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0062】

【発明の効果】本発明の投影露光装置によれば、マスクから傾斜して射出される光束又はマスクに対して傾斜して入射する光束以外の光束を第1偏光部材により所定方向に偏光した後、その偏光した光束を第2偏光部材により遮光するため、感光基板上に結像する光束はマスクから傾斜して射出される光束、又はマスクに対して傾斜して入射する光束だけとなり、中心遮光型の瞳フィルターを用いる方式、又は輪帯照明や変形照明を用いる場合とほぼ等価の高い解像度が得られる利点がある。また、第1偏光部材と第2偏光部材との間を、有効な結像光束と第1偏光部材により所定方向に偏光された光束とが通過する。従って、第1偏光部材と第2偏光部材との間に配置された投影光学系の瞳面近傍におけるレンズの照度分布がほぼ均一になり、投影光学系内のレンズの高次の熱変形や屈折率の変化が抑えられ、結果的に投影光学系の高次の球面収差変動が抑えられる利点がある。

【0063】また、第1偏光部材が、光軸の周りの輪帯状領域の内側の領域、又は光軸から偏心した複数の領域を除く領域を通過する露光光の偏光方向を所定方向に設定する場合には、有効な結像光束は光軸の周りの輪帯状領域、又は光軸から偏心した複数の領域を通過し、第2偏光部材を通過して感光基板上に結像する。一方、有効な結像光束以外の光束は、第2偏光部材により遮光され、感光基板上に結像しない。従って、その第1偏光部材が投影光学系の瞳面と共役な面上にあるときには、輪帯照明や変形照明を行った場合と等価になる。一方、その第1偏光部材がその瞳面上にあり、光軸の周りの輪帯状領域の内側の領域で直線偏光光を通過させるときには、中心遮光型の瞳フィルターを使用する場合と等価になる。

【0064】また、第1偏光部材と、第2偏光部材とを一定の相対角度関係を保ってそれぞれ回転する駆動手段を設ける場合には、第1及び第2偏光部材を露光中に回転させることによって、感光基板上に結像したパターンの像の線幅がパターンの周期方向により変化する線幅異常の発生が抑えられる利点がある。

【0065】また、第2偏光部材と感光基板との間に、第2偏光部材を通過した露光光を円偏光に変換する第3偏光部材を設ける場合には、第1及び第2偏光部材を回転する駆動手段を設けることなく、パターンの周期方向による線幅異常が抑えられる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の投影露光装置の実施の形態の一例を示す一部を切り欠いた斜視図である。

【図2】図1の照明光学系に設けられた各種の開口絞りを示す平面図である。

【図3】(a)は図1の部分偏光板10を示す平面図、(b)は変形照明用の部分偏光板10Aを示す平面図、(c)は部分偏光板の他の例を示す平面図である。

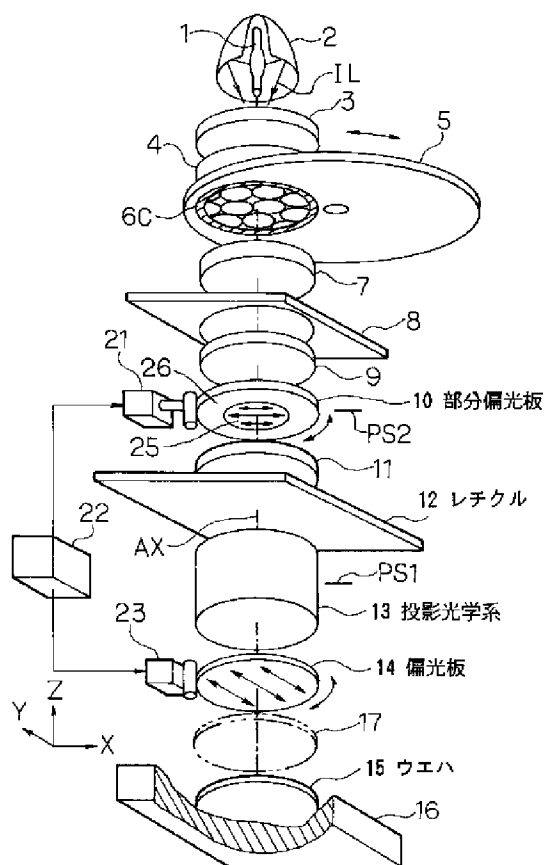
【図4】本発明の投影露光装置の実施の形態の他の例の要部を示す斜視図である。

【図5】本発明の実施の形態において、照射エネルギーによる温度分布の計算例を説明するための図である。

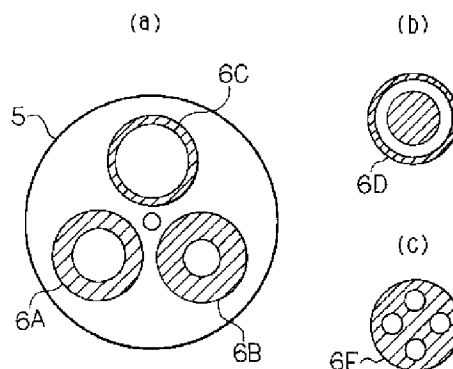
【符号の説明】

- 1 光源
- 4 フライアイレンズ
- 6A～6C 開口絞り
- 10, 10A, 10B, 10C 部分偏光板
- 12 レチクル
- 13 投影光学系
- 13A 上部レンズ系
- 13B 下部レンズ系
- PS1 瞳面
- PS2 照明系瞳面
- 14 偏光板
- 15 ウエハ
- 16 ウエハステージ
- 17 1/4波長板
- 21, 23 回転駆動体
- 22 回転角制御系

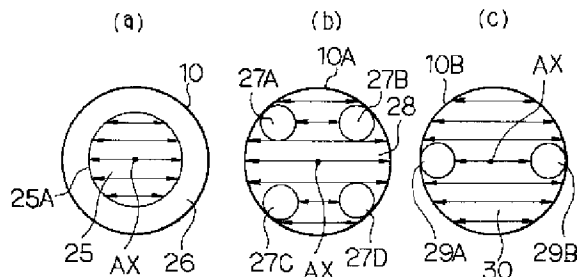
【図1】



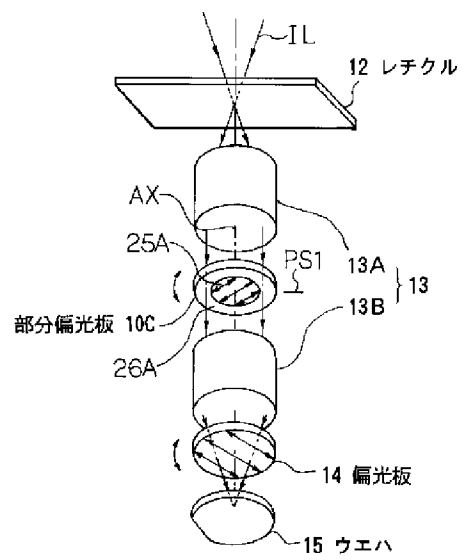
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

